



# Расширение Вселенной

Пятницкая Дарья  
группа: 30510/1

# Стационарная Вселенная невозможна

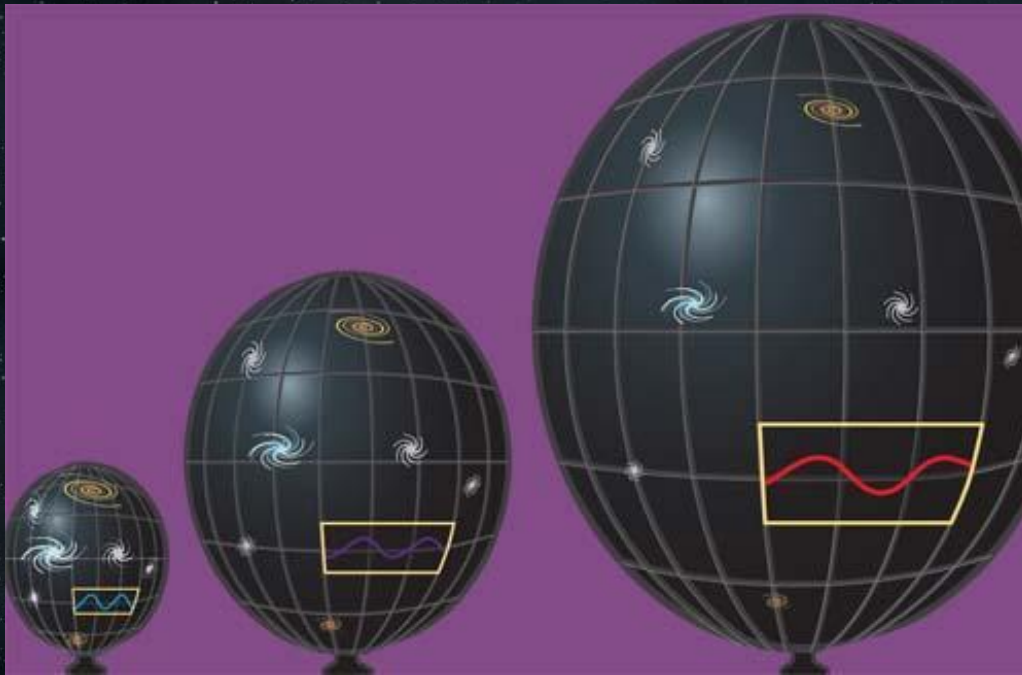
- «Возможны случаи, когда Вселенная сжимается в точку (в ничто), затем снова из точки доводит радиус свой до некоторого значения...»

Александр Александрович Фридман



# Что такое расширение ?

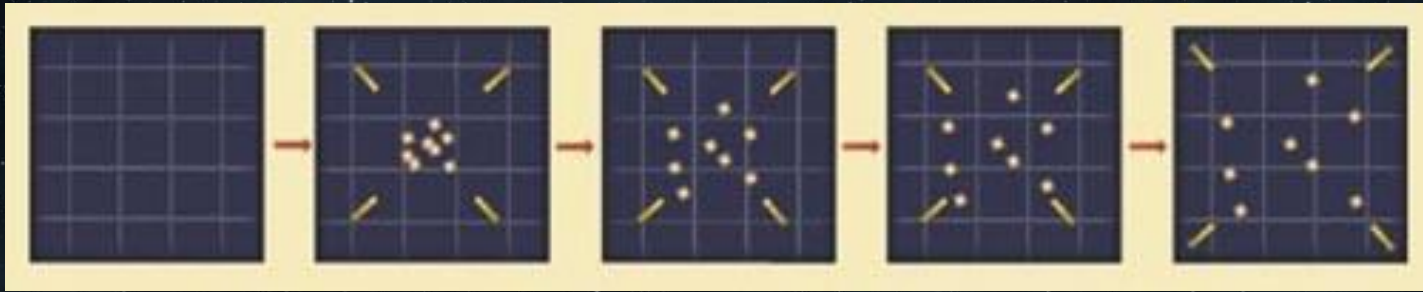
- Расширение Вселенной – одна из фундаментальных концепций современной науки – до сих пор получает различное толкование.



Раздувающийся воздушный шар – старая, но хорошая аналогия расширения Вселенной. Галактики, расположенные на поверхности шара, неподвижны, но поскольку Вселенная расширяется, расстояние между ними возрастает, а размеры самих галактик не увеличиваются

# На что был похож Большой взрыв?

- **НЕВЕРНО:** Вселенная родилась тогда, когда вещество, подобно бомбе, взорвалось в определенном месте. Давление было высоким в центре и низким в окружающей пустоте, что и вызвало разлет вещества



- **ВЕРНО:** Это был взрыв самого пространства, который привел вещество в движение. Наше пространство и время возникло в Большом взрыве и начало расширяться. Нигде не было центра, т.к. условия всюду были одинаковыми, никакого перепада давления, характерного для обычного взрыва, не было.





# Закон Хаббла (1929 год)

Закон всеобщего разбегания галактик — эмпирический закон, связывающий красное смещение галактик и расстояние до них линейным образом:

где  $z$  — красное смещение галактики,  $D$  — расстояние до неё,  $H_0$  — коэффициент пропорциональности, называемый постоянной Хаббла.

При малом значении  $z$  выполняется приближённое равенство

где  $V$  — скорость галактики вдоль луча зрения наблюдателя,  $c$  — скорость света. В этом случае закон принимает классический вид:

С помощью этого закона можно рассчитать так называемый Хаббловский возраст Вселенной:

$$cz = H_0 D$$

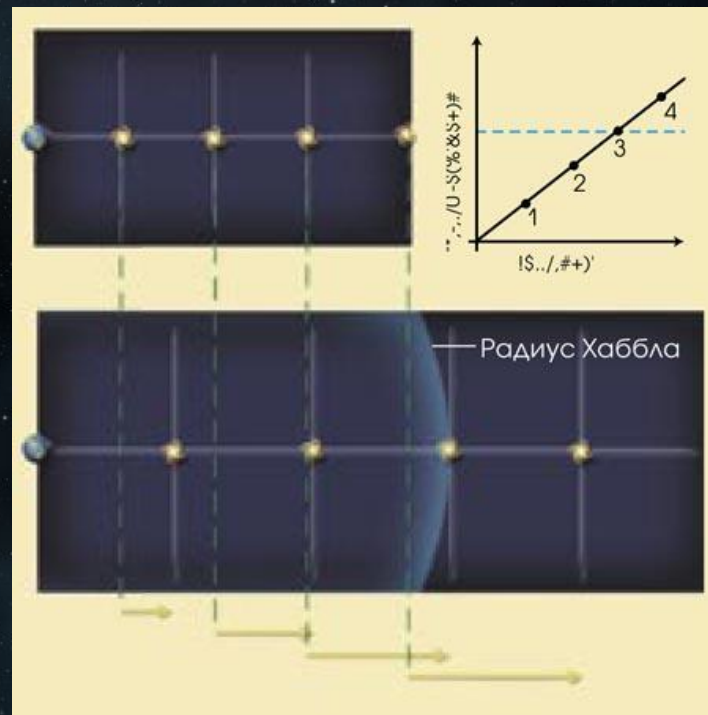
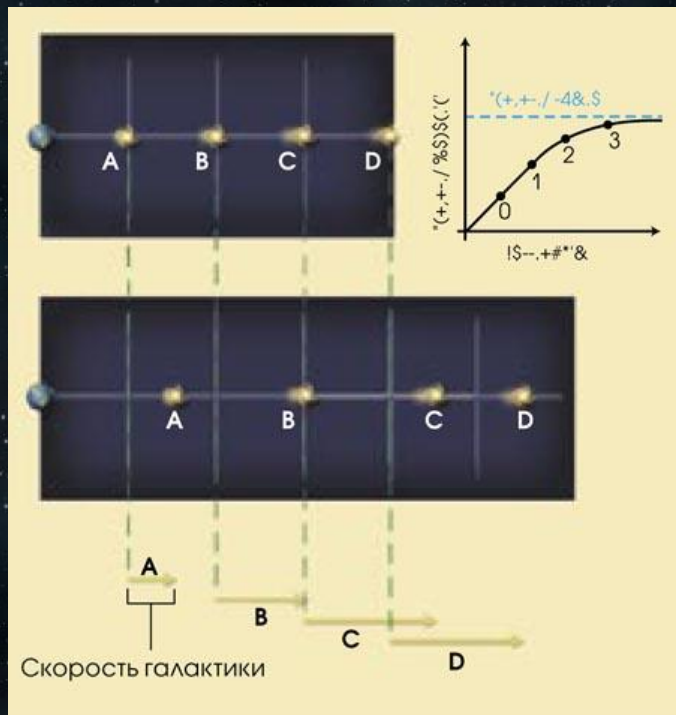
$$cz = V_r$$

$$t_H = \frac{r}{V} = \frac{1}{H_0}$$

# МОГУТ ЛИ ГАЛАКТИКИ УДАЛЯТЬСЯ СО СКОРОСТЬЮ ВЫШЕ СКОРОСТИ СВЕТА?

- НЕВЕРНО:** Частная теория относительности Эйнштейна запрещает это. Рассмотрим область пространства, содержащую несколько галактик. Из-за ее расширения галактики удаляются от нас. Чем дальше галактика, тем больше ее скорость (красные стрелки). Если скорость света – предел, то скорость удаления должна в итоге стать постоянной.

- ВЕРНО:** Разумеется, могут. Частная теория относительности не рассматривает скорость удаления. Скорость удаления бесконечно возрастает с расстоянием. Дальше некоторого расстояния, называемого хаббловским, она превышает скорость света. Это не является нарушением теории относительности, поскольку удаление вызвано не движением в пространстве, а расширением самого пространства.

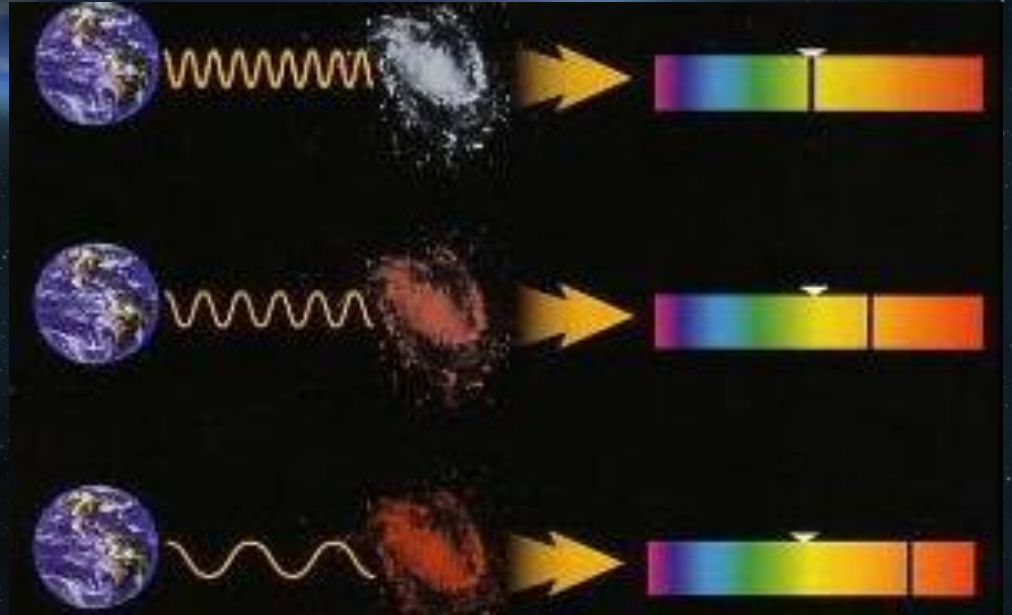




# Растяжение фотонов

- **Космологическое (метagalактическое) красное смещение** — наблюдаемое для всех далёких источников (галактики, квазары) понижение частот излучения, свидетельствующее о динамическом удалении этих источников друг от друга и, в частности, от нашей Галактики, то есть о нестационарности (расширении) Метагалактики.
- Часто космологическое красное смещение связывают с эффектом Доплера. Однако, на самом деле, космологическое красное смещение происходит несколько по-другому, оно связано с расширением пространства согласно ОТО. В наблюдаемое красное смещение от галактик вносит вклад как космологическое красное смещение из-за расширения пространства Вселенной, так и красное или фиолетовое смещения эффекта Доплера вследствие собственного движения галактик. При этом на больших расстояниях вклад космологического красного смещения становится преобладающим.

# Растяжение фотонов

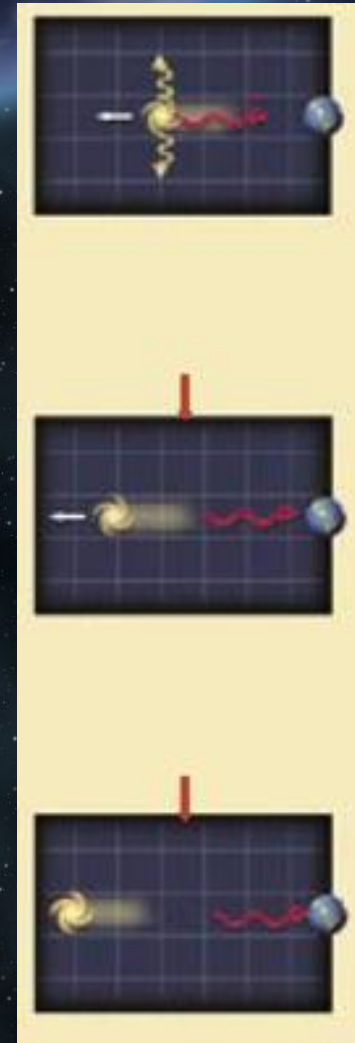


- Чем дальше от Земли находится та или иная галактика, тем выше скорость ее удаления от нас и, соответственно, тем сильнее смещены к красному концу линии ее спектра.

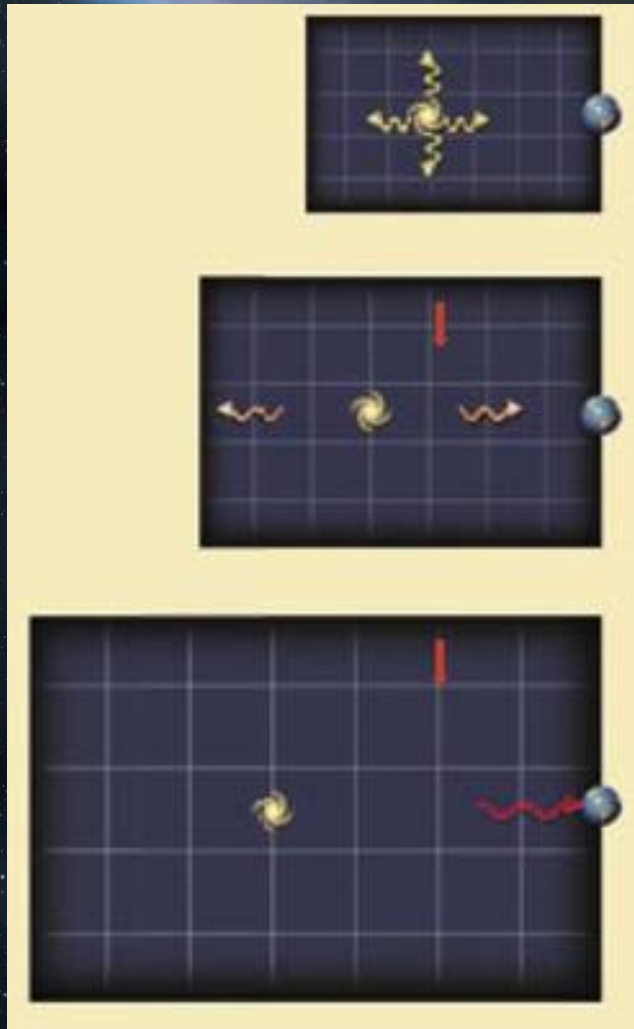


# ДЕЙСТВИТЕЛЬНО ЛИ КОСМИЧЕСКОЕ КРАСНОЕ СМЕЩЕНИЕ – ЭТО ДОПЛЕРОВСКОЕ СМЕЩЕНИЕ?

- **НЕВЕРНО:** Да, потому что удаляющиеся галактики движутся в пространстве. В эффекте Доплера световые волны растягиваются (становясь более красными), когда их источник удаляется от наблюдателя. Длина волны света не меняется во время его путешествия сквозь пространство. Наблюдатель принимает свет, измеряет его красное смещение и вычисляет скорость галактики.



# ДЕЙСТВИТЕЛЬНО ЛИ КОСМИЧЕСКОЕ КРАСНОЕ СМЕЩЕНИЕ – ЭТО ДОПЛЕРОВСКОЕ СМЕЩЕНИЕ?

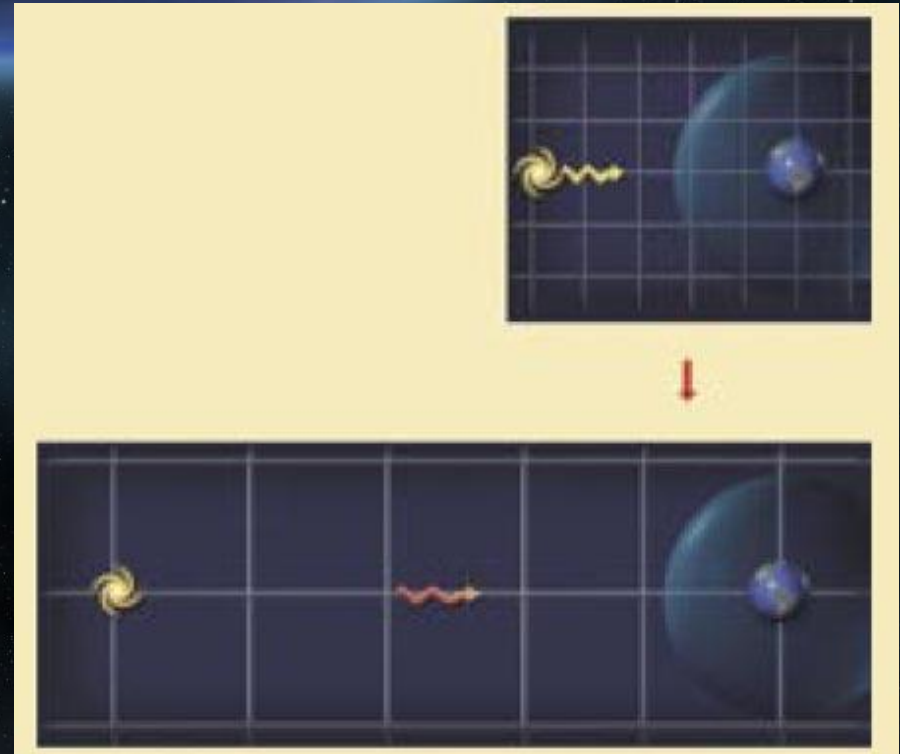


- **ВЕРНО:** Нет, красное смещение не имеет никакого отношения к эффекту Доплера. Галактика почти неподвижна в пространстве, поэтому испускает свет одинаковой длины волны во всех направлениях. За время пути длина волны становится больше, поскольку пространство расширяется. Поэтому свет постепенно краснеет. Наблюдатель принимает свет, измеряет его красное смещение и вычисляет скорость галактики. Космическое красное смещение отличается от доплеровского смещения, что подтверждают наблюдения.

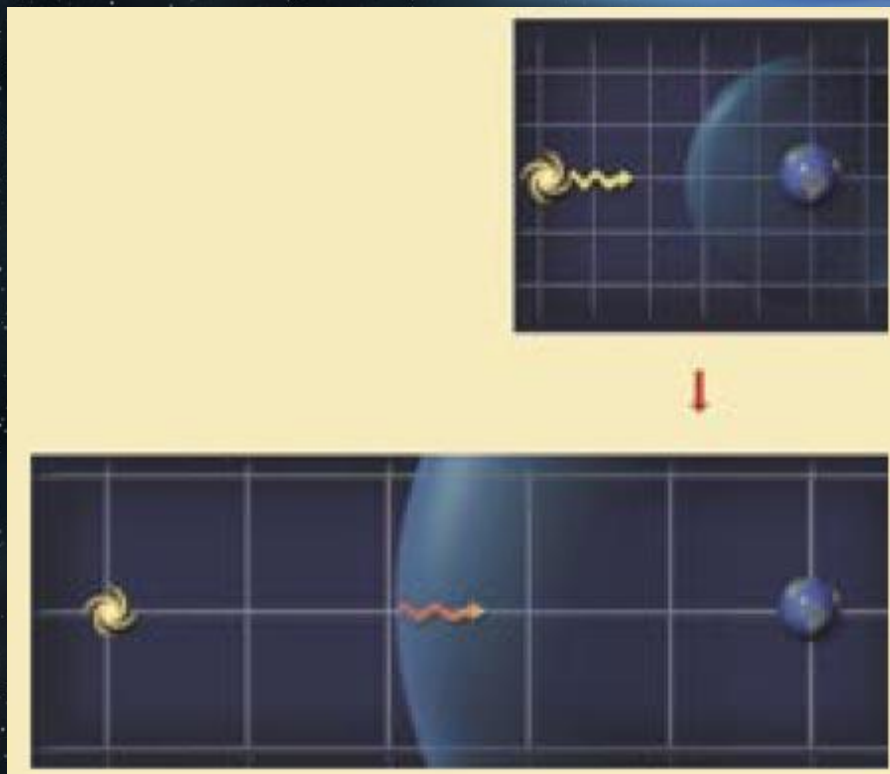


# Можно ли увидеть галактики, удаляющиеся быстрее света?

- **НЕВЕРНО:** Конечно нет. Свет от таких галактик улетает вместе с ними. Пусть галактика находится за пределом хаббловского расстояния (сфера), т.е. удаляется от нас быстрее скорости света. Она испускает фотон (помечено желтым цветом). Пока фотон летит сквозь пространство, само оно расширяется. Расстояние до Земли увеличивается быстрее, чем движется фотон. Он никогда не достигнет нас.



# Можно ли увидеть галактики, удаляющиеся быстрее света?



- **ВЕРНО:** Конечно можно, поскольку скорость расширения изменяется со временем. Сначала фотон действительно сносится расширением. Однако хаббловское расстояние не постоянно: оно увеличивается, и в конце концов фотон может попасть в сферу Хаббла. Как только это случится, фотон будет двигаться быстрее, чем удаляется Земля, и он сможет достичь нас.

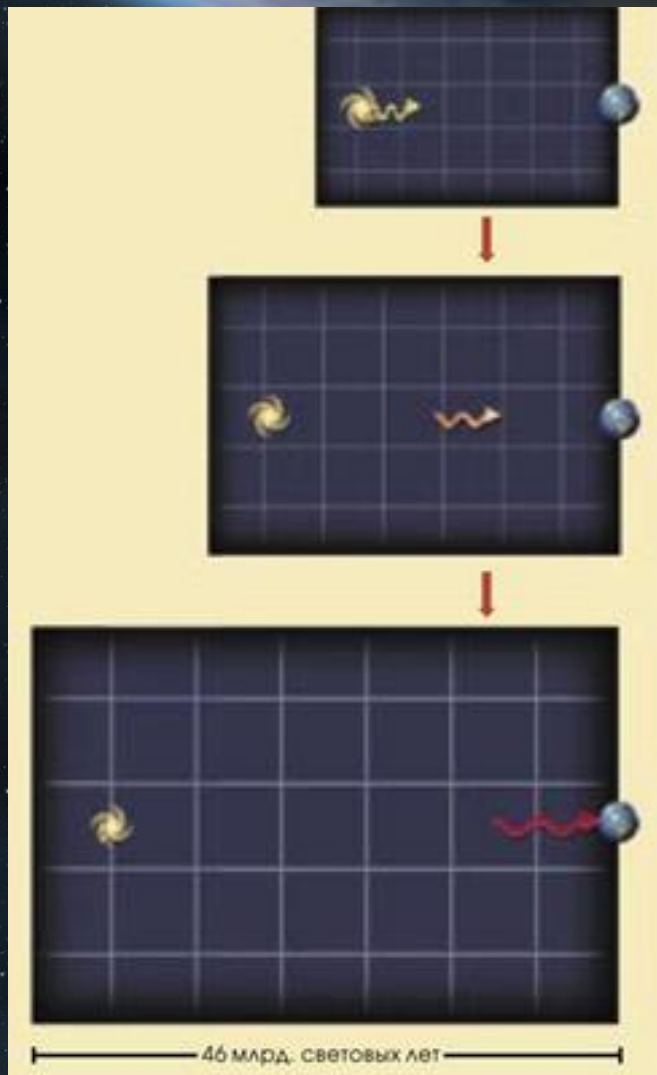


# Насколько велика наблюдаемая Вселенная?

- **НЕВЕРНО:** Вселенной 14 млрд. лет, поэтому наблюдаемая ее часть должна иметь радиус 14 млрд. световых лет. Рассмотрим самую далекую из наблюдаемых галактик – ту, чьи фотоны, испущенные сразу после Большого взрыва, только теперь достигли нас. Световой год – это расстояние, проходимое фотоном за год. Значит, фотон преодолел 14 млрд. световых лет



# Насколько велика наблюдаемая Вселенная?

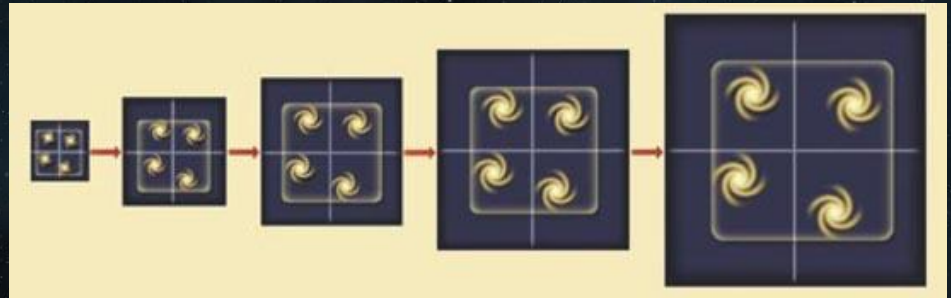


- **ВЕРНО:** Поскольку пространство расширяется, наблюдаемая область имеет радиус больше, чем 14 млрд. световых лет. Пока фотон путешествует, пространство, которое он пересекает, расширяется. К моменту, когда он достигает нас, расстояние до испустившей его галактики становится больше, чем просто вычисленное по времени полета, – приблизительно втрое больше

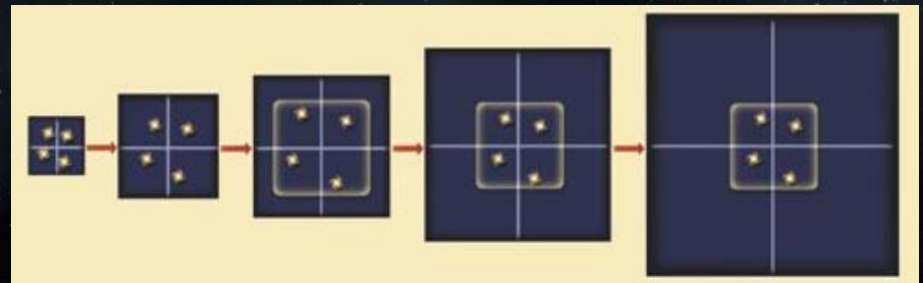


# А объекты во Вселенной тоже расширяются?

- **НЕВЕРНО:** Да. Расширение заставляет Вселенную и все находящееся в ней увеличиваться. В качестве объекта рассмотрим скопление галактик. Раз Вселенная становится больше, то и скопление – также. Граница скопления (желтая линия) расширяется

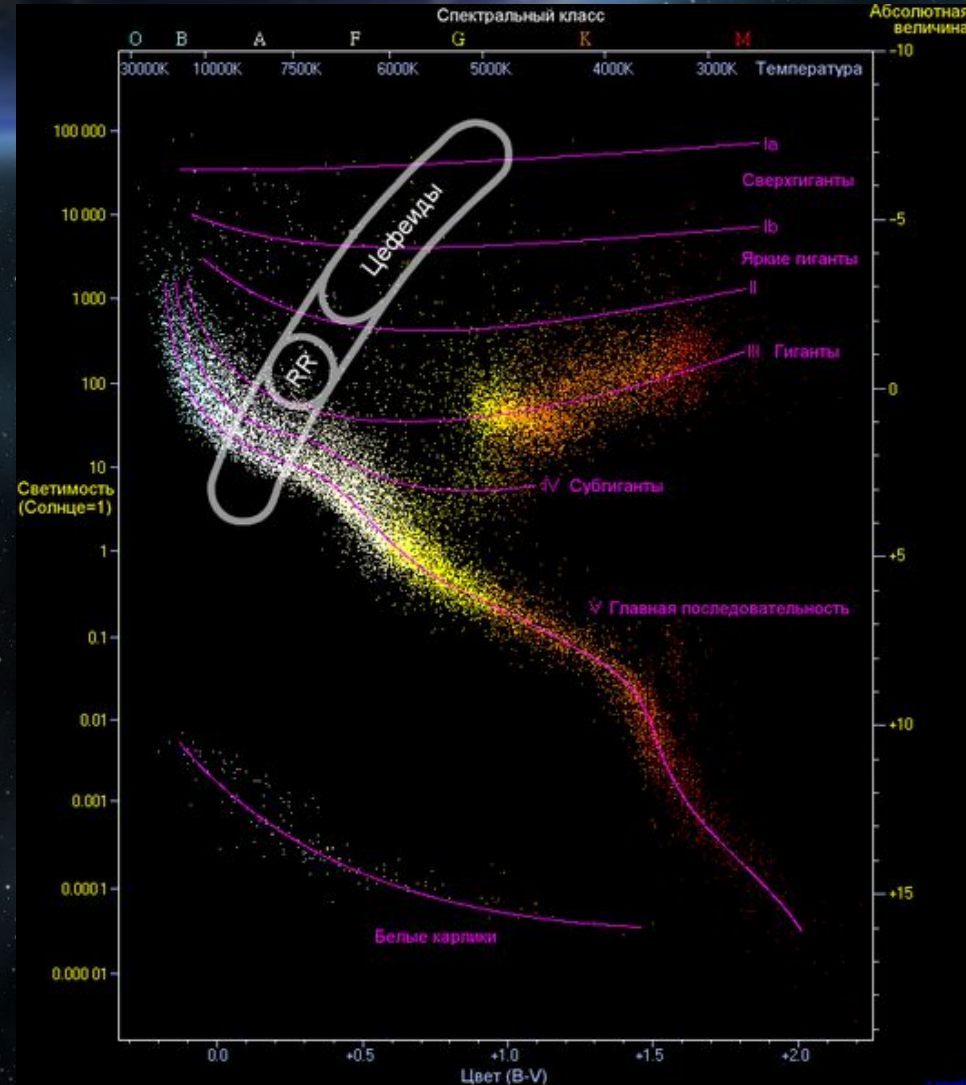


- **ВЕРНО:** Нет. Вселенная расширяется, но связанные объекты в ней не делают этого. Соседние галактики сначала удаляются, но в конечном счете их взаимное притяжение пересиливает расширение. Формируется скопление такого размера, которое соответствует его равновесному состоянию.



# «Стандартные свечи»

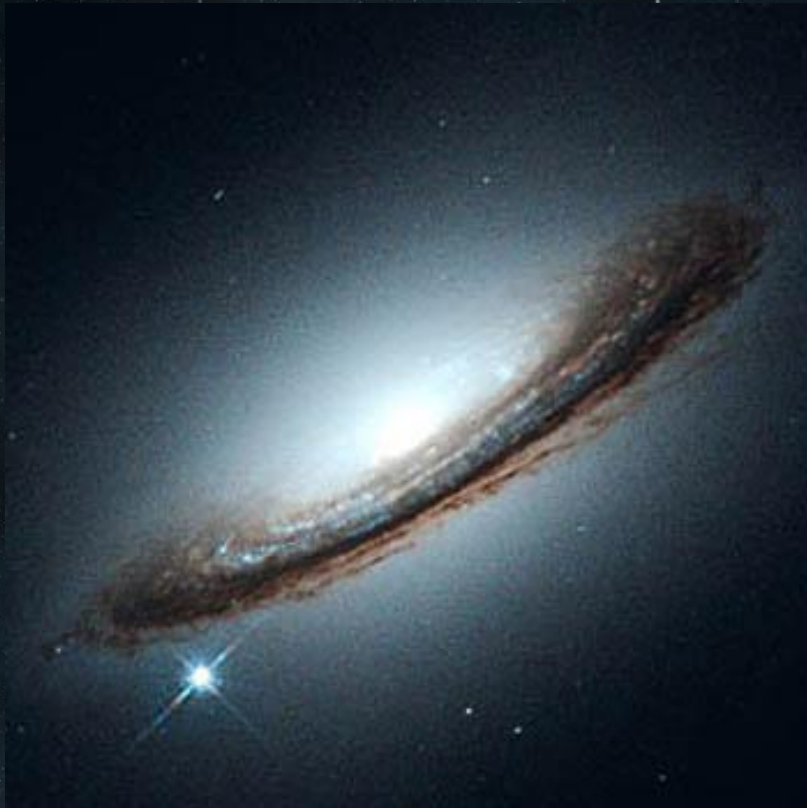
- **Цефеиды** — класс пульсирующих переменных звёзд с довольно точной зависимостью период—светимость, названный в честь звезды  $\delta$  Цефея. Одной из наиболее известных цефеид является Полярная звезда





# «Стандартные свечи»

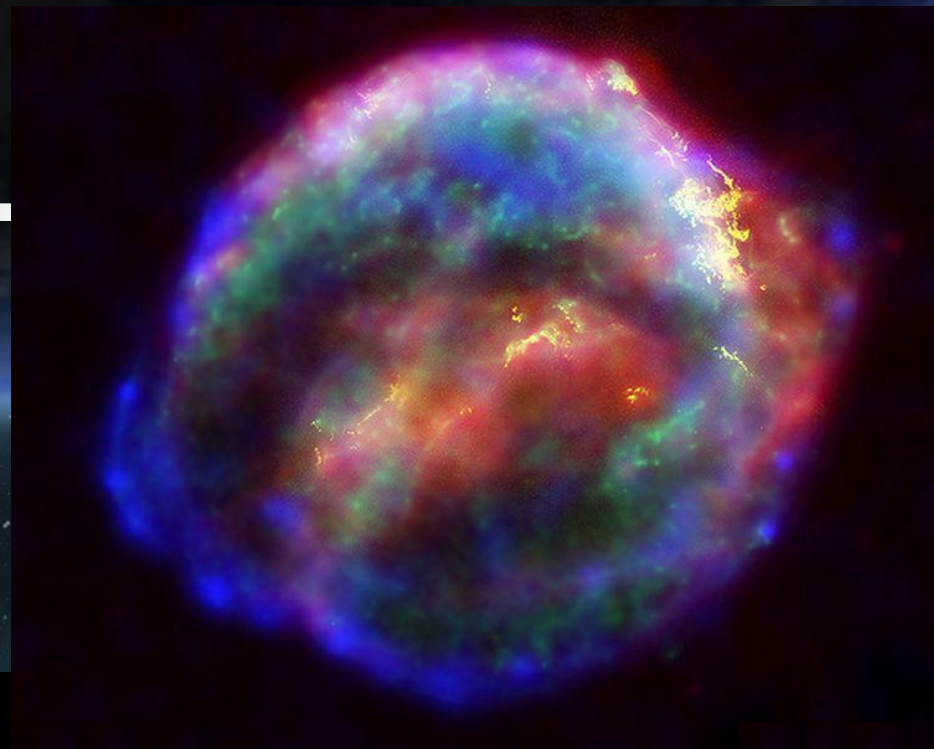
- **Сверхновые звёзды** — звёзды, блеск которых при вспышке увеличивается на десятки звёздных величин в течение нескольких суток. Поэтому *сверхновые* можно регистрировать из очень далёких галактик вплоть до красных смещений  $z \sim 1$  (~ 1000 Мпк), и даже больше. Во время вспышки *сверхновой* выделяется энергия порядка  $10^{50} - 10^{51}$  эрг.



- В 1994 году на периферии далекой галактики NGC 4256 вспыхнула сверхновая. На снимке видно, что по яркости она была сравнима со всей галактикой.



- Остаток сверхновой Кеплера

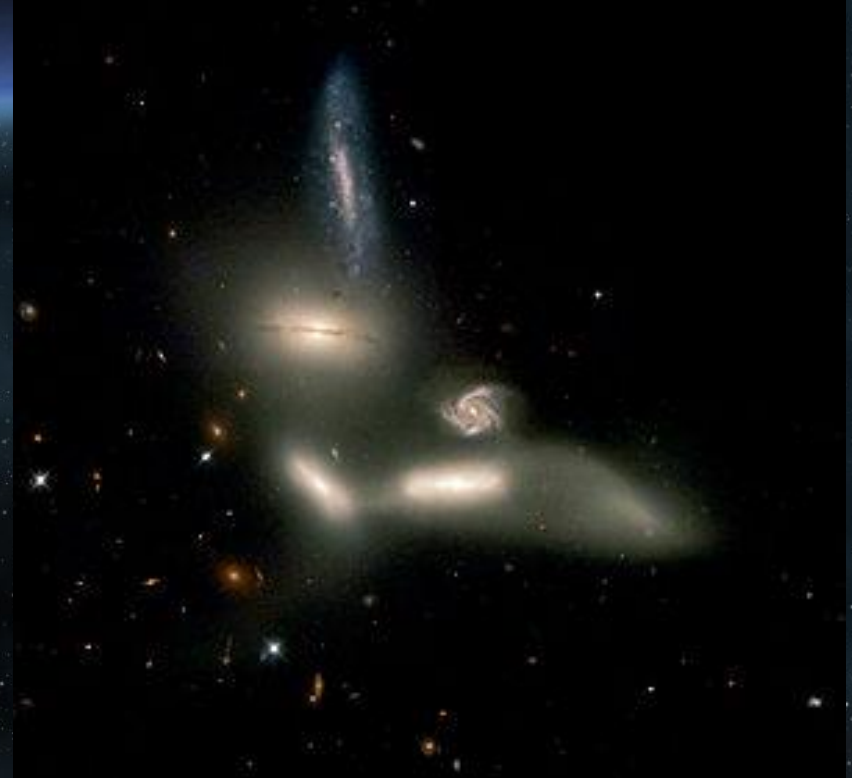


- Крабовидная туманность, как остаток сверхновой SN 1054



# Скрытая (темная) масса

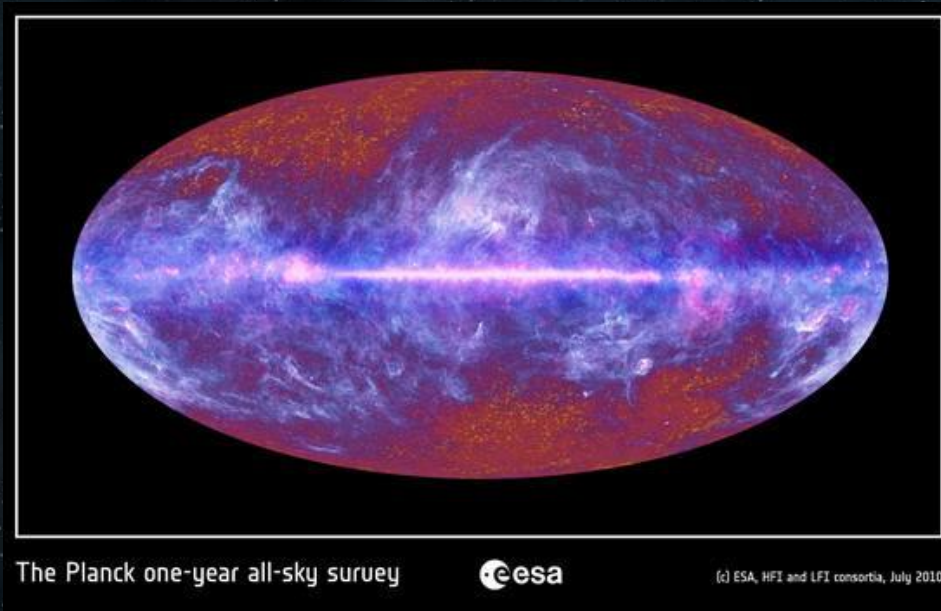
- В 30-е годы астроном Фриц Цвикки изучал движение связанной группы галактик, каждая из которых движется настолько быстро, что должна была бы покинуть группу, так как их общее тяготение примерно в 10 раз меньше того, что могло бы их удержать. Тем не менее они остаются в составе группы. Суммарную массу звезд, газа и пыли в галактиках ученые умеют определять. Она недостаточна. Оставалось предположить, что есть еще какая-то темная масса, что-то, чего астрономы не замечают.



- Секстет Сейферта как пример группы галактик

# Реликтовое излучение

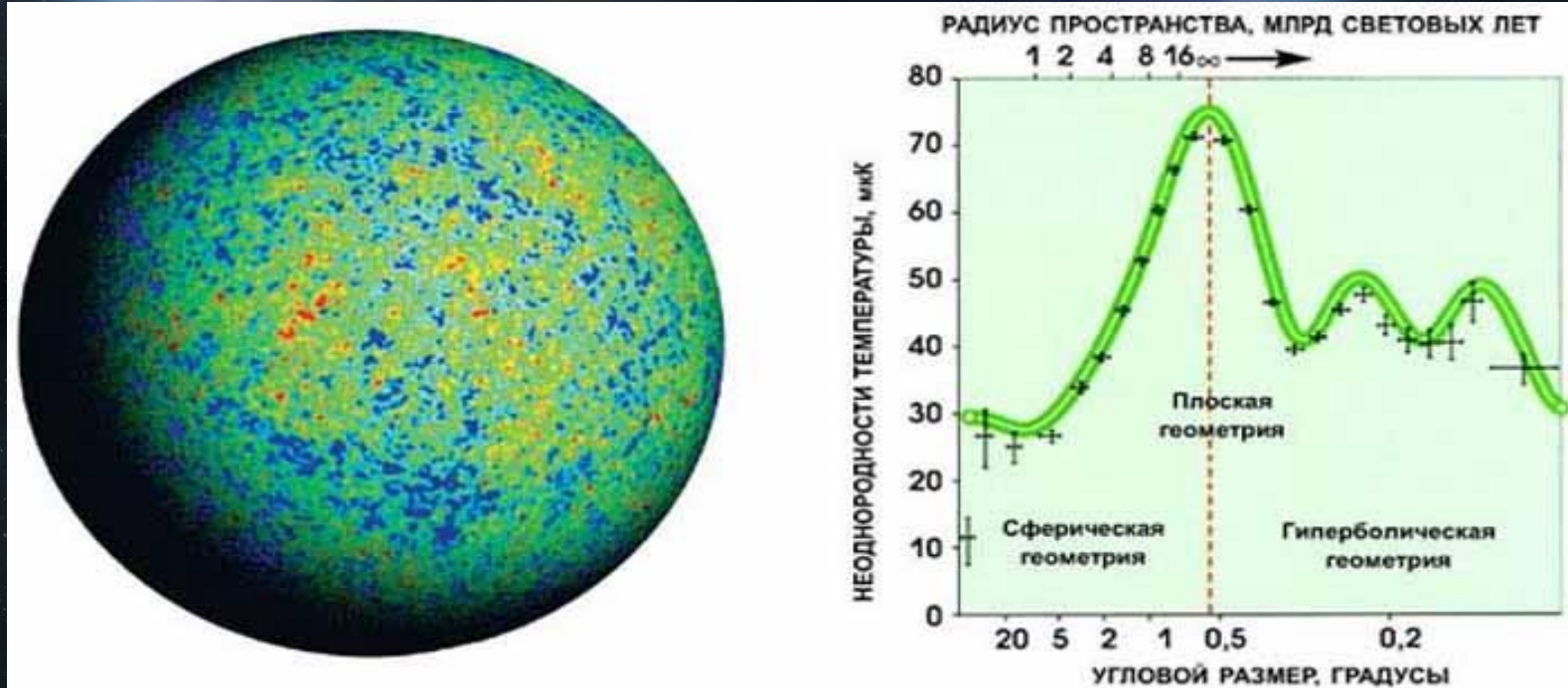
- **Микроволновое фоновое излучение** (cosmic microwave background radiation, CMBR), так же известное как реликтовое, считается своеобразным эхом Большого взрыва, в результате которого образовалась Вселенная, в том виде, в котором она известна нам. средняя температура реликтового излучения не превышает 2,7 кельвина



- **Телескоп Планк составил полную карту реликтового излучения Вселенной.**
- На представленном изображении видна яркая полоса, пересекающая плоскость карты. Эта область носит название «диск Галактики» – там формируется подавляющее большинство звезд Млечного пути. Более светлые пятна снизу и сверху от диска являются тем самым реликтовым излучением, возраст которого оценивается в 13,7 млрд лет.



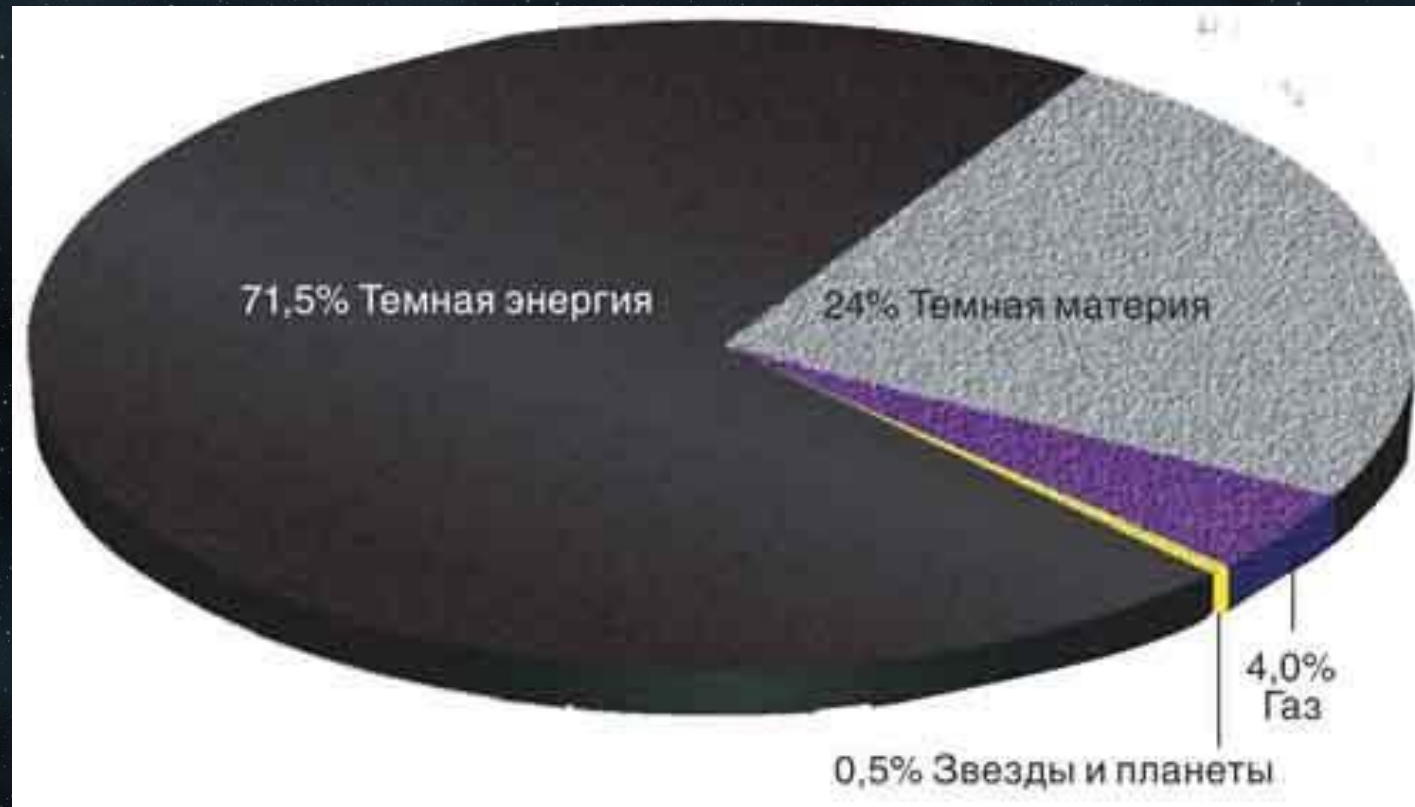
# Реликтовое излучение



- Слева: флуктуации фона реликтового излучения, по данным спутника WMAP. Неоднородности, показанные цветом, составляют всего несколько сотысячных градуса, но они привели к новой картине мира.
- Справа: сахаровские колебания – угловое распределение неоднородностей фона реликтового излучения. Именно сахаровские колебания дают сведения о плоскостности или кривизне мира, о которых писал А. А. Фридман.

# Темная масса Вселенной – что про нее известно?

- *ВСЕЛЕННАЯ СОСТОИТ в основном из темной энергии и темной материи; природа обеих неизвестна. Обычное вещество, из которого сформированы звезды, планеты и межзвездный газ, составляет лишь малую долю.*

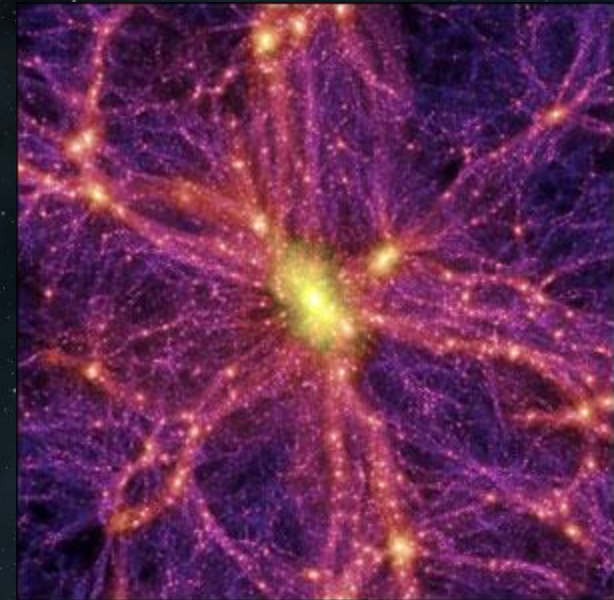




# Темная масса Вселенной – что про нее известно?

**Темная материя** – общее название астрономических объектов, недоступных прямым наблюдениям, то есть не испускающие электромагнитного излучения достаточной для наблюдений интенсивности, но наблюдаемым косвенно по гравитационным эффектам.

- Со временем часть скрытой массы удалось обнаружить. Так, согласно последним наблюдениям, в число объектов составляющих скрытую массу входят остывшие белые карлики, нейтронные звезды, межгалактический газ, возможно черные дыры. Однако, по оценкам теоретиков, и этих объектов существенно недостаточно





# Темная масса Вселенной – что про нее известно?

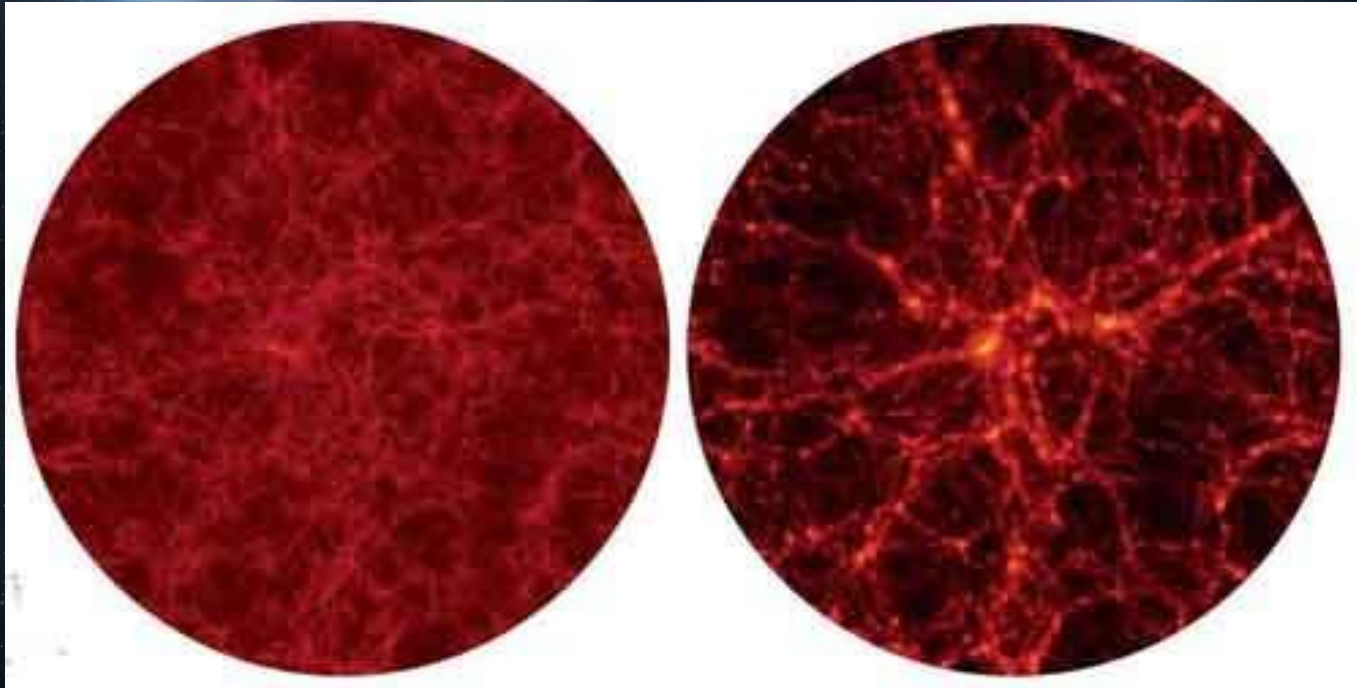
- Темная масса Вселенной в 6 раз превышает массу материи обычной – той, что видят и что пока не замечают глаза и приборы.
- Темная масса распределена более равномерно, охватывающем Галактику гигантской сферой. В этом смысле вокруг и внутри нашей звездной системы находится еще одна галактика.
- Темная масса никак не взаимодействует с излучением любых видов, никак не светит сама и ничего не поглощает. Но она подвержена закону всемирного тяготения и проявляет себя, концентрируясь вокруг галактик и других массивных объектов. Впрочем, правильнее сказать, наверное, что это галактики и другие массивные объекты концентрируются вокруг скоплений таинственной темной массы, которой в 6 раз больше.
- Темная масса уже существовала в момент Большого взрыва. Без нее наш мир не мог возникнуть.



# Темная масса Вселенной – что про нее известно?

- 73% состава Вселенной приходится на так называемую **темную энергию**. Иногда понятие темной энергии включают в понятие скрытой массы, трудно сказать правильно это или нет. Важно лишь понимать как обстоят дела на самом деле.
- Существует два варианта объяснения сущности темной энергии:
  - Темная энергия есть космологическая константа — неизменная энергетическая плотность, равномерно заполняющая пространство.
  - Темная энергия есть некая квинтэссенция — динамическое поле, энергетическая плотность которого может меняться в пространстве и времени.
- Некоторые из сторонников первого случая приписывают темную энергию к самому пространству, или вакууму, что уже является вопросом определения. Альтернативный подход исходит из предположения, что темная энергия — это своего рода частицеподобные возбуждения некоего динамического скалярного поля, называемого квинтэссенцией. Отличие от космологической константы в том, что плотность квинтэссенции может варьироваться в пространстве и времени.

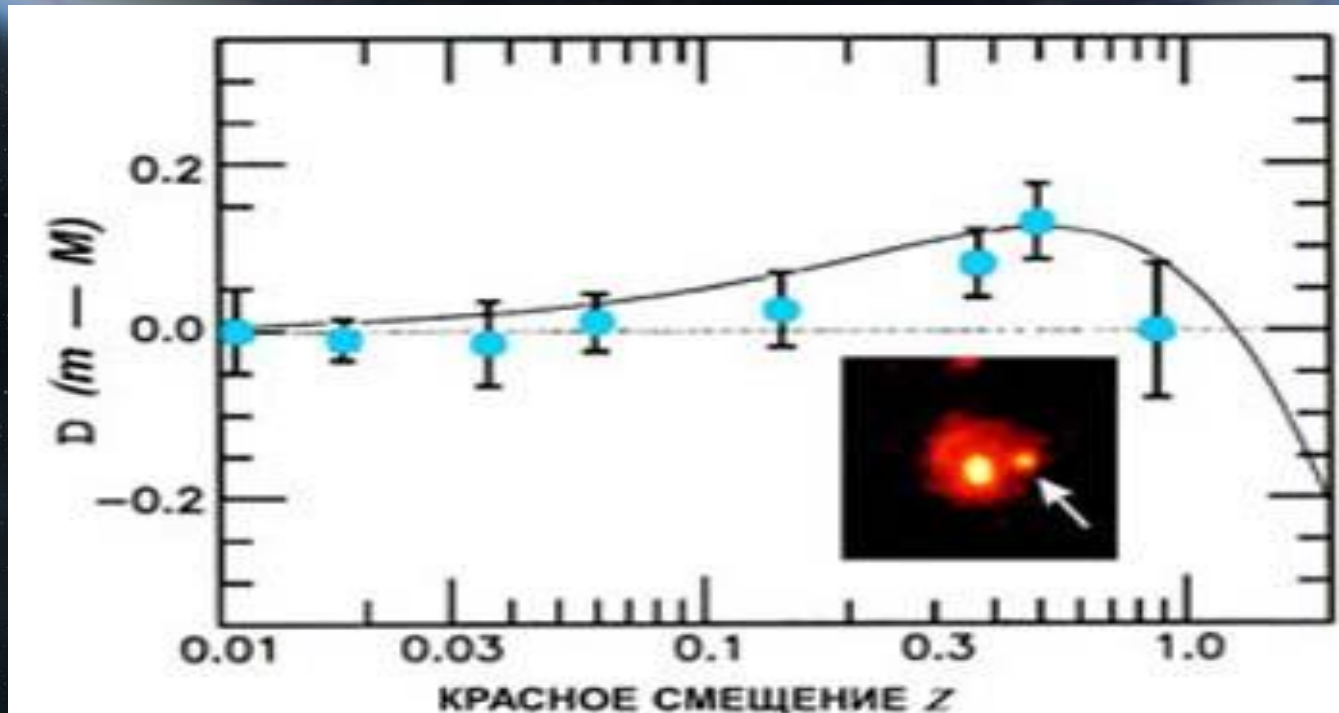
# Темная энергия



- *Если бы во Вселенной было еще больше темной энергии, она бы осталась почти бесформенной (слева), без тех крупных структур, которые мы видим (справа)*



# Открытие всемирного антитяготения



- Наблюдения очень далеких сверхновых типа Ia. По горизонтали отложено красное смещение  $z$ , по вертикали – разность между теоретической яркостью  $m$  и реально наблюдаемой  $M$ . На врезке – далекая галактика и ее сверхновая, которая светила всего один месяц миллиард лет назад. Из-за большого красного смещения и сверхновая, и сама галактика имеют красный цвет.

# Темная энергия и судьба Вселенной

